

Ekperimental Penyeimbangan Dinamis Menggunakan Metode 4 Massa Coba Terhadap Kondisi *Unbalance* Dinamis Akibat Massa Tak Seimbang

Murni*, Bismo Alfarishy, Wiji Mangestiyono, Bambang Setyoko

¹Dosen, Departemen Teknologi dan Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang 50275, Telp. +62247460059

*Email: mochmurni@lecture.undip.ac.id,

Abstract

Unbalanced condition is defined as a condition that occurs in the rotor when the force or vibrational motion applied to the bearings is the result of centrifugal force. Balancing is the treatment of unbalanced components by providing another centrifugal force that will oppose the original centrifugal force or by eliminating the force. Dynamic balancing is a balancing activity carried out against dynamic imbalance conditions that occur in rotating machines. Balancing process aims to reduce the vibrations that occur in the rotor system by adding or reducing mass in the rotor. To determine the state of unbalance, a vibration measuring device or vibrometer is used to measure the value of vibrations that occur in the rotor. This dynamic balancing test was carried out using the Dynamic Balancing Test Tool found in the Mechanical Design Engineering Metrology Laboratory with a motor power of 1 hp with a maximum rotational speed of 1485 RPM and using a fixed shaft mounted on a test object with 2 disks with holes for placing the test mass. In the testing process, the 4 dynamic trial mass method was used, with the condition of the disk object being unbalanced mass of 08 grams, 10 grams, 12 grams, and 15 grams with different positions in the two fields. This increase in mass causes the object to experience dynamic imbalance, and the vibration value becomes higher than the initial state of the machine. Then do the balancing at 1485 RPM rotation. Overall, the balancing has succeeded in reducing the value of the resulting vibration velocity. The largest balancing percentage was also obtained with a value of 103% on the left bearing and 88% on the right bearing under 15gram unbalance mass weight conditions while the smallest was 33% on the left bearing and 39% on the right bearing with 8gram unbalance mass weight conditions so that it can be seen that the mass weight unbalance also affects the balance.

Keywords : *Balancing, Rotor, Dinamis, Unbalance*

Abstrak

Kondisi ketidakseimbangan atau *Unbalanced Condition* didefinisikan sebagai suatu kondisi yang terjadi di rotor ketika gaya atau gerakan getaran yang diberikan ke bantalannya adalah akibat dari gaya sentrifugal. Penyeimbangan (*Balancing*) yaitu perlakuan terhadap komponen yang mengalami ketidakseimbangan dengan cara memberikan gaya sentrifugal lain yang akan melawan gaya sentrifugal semula atau dengan cara menghilangkan gaya tersebut. Penyeimbangan dinamis merupakan kegiatan penyeimbangan yang dilakukan terhadap kondisi ketidakseimbangan dinamis yang terjadi pada mesin berputar. Proses *Balancing* bertujuan untuk mengurangi getaran yang terjadi pada sistem rotor dengan menambahkan atau mengurangi massa pada rotor. Untuk mengetahui keadaan *unbalance* maka digunakan alat pengukur getaran atau vibrometer untuk mengukur nilai getaran yang terjadi pada rotor. Pengujian *Balancing* dinamis ini, dilakukan menggunakan Alat Uji *Balancing* Dinamis yang terdapat pada Laboratorium Metrologi S.Tr Rekayasa Perancangan Mekanik dengan daya motor 1 hp dengan kecepatan putar maksimal 1485 RPM dan menggunakan *fixed shaft* yang dipasang benda uji 2 buah disk dengan lubang untuk penempatan massa pengujian. Pada proses pengujian digunakan metode 4 massa coba dinamis, dengan kondisi benda uji disk dipasang massa *unbalance* sebesar 08 gram, 10 gram, 12 gram, dan 15 gram dengan posisi yang berbeda pada kedua bidang. Penambahan massa ini menyebabkan benda mengalami ketidakseimbangan secara dinamis, dan nilai getaran menjadi lebih tinggi dari kondisi awal mesin. Kemudian dilakukan penyeimbangan pada putaran 1485 RPM. Secara keseluruhan penyeimbangan yang dilakukan berhasil menurunkan nilai kecepatan getaran yang timbul. Didapatkan juga persentase penyeimbangan terbesar dengan nilai 103% pada bantalan kiri dan 88% pada bantalan kanan pada kondisi berat massa *unbalance* 15gram sedangkan yang terkecil sebesar 33% pada bantalan kiri dan 39% pada bantalan kanan dengan kondisi berat massa *unbalance* 8gram sehingga terlihat bahwa berat massa *unbalance* juga berpengaruh dalam penyeimbangan.

Kata kunci: Penyeimbangan, Rotor, Dinamis, Ketidakseimbangan

1. Pendahuluan

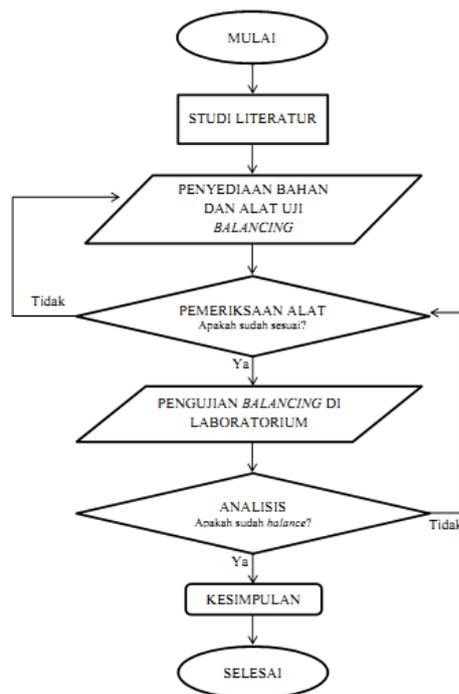
Perkembangan teknologi yang sangat pesat membuat semakin banyaknya diproduksi mesin-mesin untuk memenuhi kebutuhan manusia. Di dunia industri banyak digunakan mesin untuk mempermudah serta mempercepat pekerjaan. Salah satu dari jenis mesin tersebut adalah mesin-mesin rotasi atau *Rotary Machinery* yang awalnya berputar pada kecepatan putaran rendah hingga sekarang mulai banyak komponen mesin berputar yang beroperasi pada kecepatan putaran tinggi seperti turbin, kompresor, pompa, dan fan. Mesin-mesin rotasi tersebut pada umumnya terdiri dari poros yang berputar dengan putaran tertentu [1]. Penggunaan mesin-mesin berputar tidak hanya teebatas di dunia industri, bahkan sangat sering dijumpai penggunaan mesin-mesin berputar pada alat transportasi.

Pada mesin-mesin yang bekerja secara rotasi, tak terhindarkan dari suatu masalah yaitu kondisi tak seimbang pada komponen mesin. Kondisi tak seimbang atau *Unbalance Condition* dapat terjadi karena terdapat massa yang berlebih pada bagian tertentu dari rotor, komponen penyusun rotor yang tidak homogen, kesalahan proses produksi, dan desain yang tidak simetris. ISO 1925 : 2001 mendefinisikan *unbalance* atau ketidakseimbangan sebagai kondisi yang ada di rotor ketika gaya atau gerakan getaran yang diberikan ke bantalannya sebagai akibat dari gaya sentrifugal. Kondisi tersebut dapat mengurangi kinerja mesin bahkan dapat membahayakan mesin itu sendiri. Oleh karena itu dibutuhkan proses penyeimbangan atau *balancing* yang berfungsi untuk menyeimbangkan kondisi komponen mesin berputar agar dapat mengurangi getaran yang timbul dan memperpanjang usia pakai mesin. Pada penelitian ini dilakukan penyeimbangan terhadap rotor yang diberikan kondisi tidak seimbang akibat ditempatkan massa tak seimbang.

Massa tak seimbang yang digunakan adalah 8 gram, 10 gram, 12 gram, dan 15 gram dengan penempatan massa tak seimbang terletak sepasang di dua buah disk. Penyeimbangan dilakukan menggunakan metode 4 massa coba. Penelitian ini bermaksud mengimplementasikan penyeimbangan dinamis menggunakan alat uji *balancing* yang dirancang dengan metode 4 massa coba tanpa sudut fasa. Selain itu, juga bertujuan untuk menganalisa benda uji sebelum dan setelah diseimbangkan.

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, alat uji yang digunakan adalah alat uji *balancing* dinamis yang dirancang dengan benda uji berupa 2 buah *disk* dengan variasi lubang penempatan massa. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian *two-plane balancing* sesuai rancangan alat uji dimana terdapat 2 buah rotor *disk* sebagai benda uji dan ditempatkan massa tak seimbang untuk menciptakan kondisi tak seimbang dinamis. Setelah massa tak simbang sudah terpasang, maka akan dilakukan penyeimbangan pada kedua bidang menggunakan metode 4 massa coba. Metode ini hanya menggunakan nilai simpangan sebagai parameter getaran untuk melakukan penyeimbangan. Parameter lainnya yang diukur pada pengujian ini yaitu kecepatan getaran sebagai nilai acuan kondisi *balance* dan simpangan sebagai data perhitungan untuk menentukan massa penyeimbang.

2.2 Set Up Pengujian

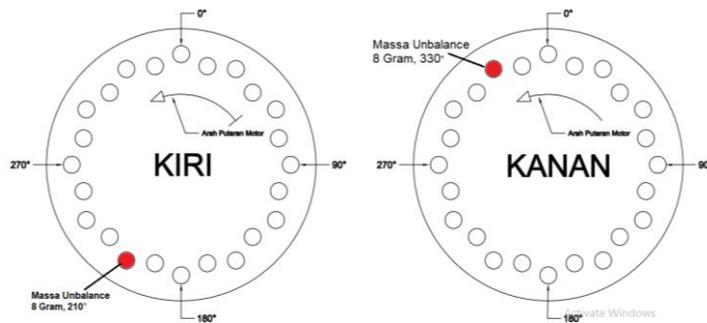
Pengujian dilakukan menggunakan alat uji *balancing* dengan model *two-plane balancing* dan metode penyeimbangan 4 massa coba dikecepatan putaran motor 1485 RPM. Benda uji telah dirancang adanya lubang penempatan massa tambahan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metrologi dan Instrumentasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Alat uji *balancing* dinamis model *two-plane balancing* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Alat Uji *Two-Plane Dynamic Balancing*

2.2.1 Posisi Massa *Unbalance*

Pada pengujian yang dilakukan, alat uji *balancing* dirancang dalam keadaan seimbang pada kondisi awal, sehingga diperlukan pengkondisian alat uji agar menjadi tak seimbang. Kondisi tersebut diciptakan dengan menambahkan massa tak seimbang (*unbalance*). Penempatan massa *unbalance* dibuat dengan variasi massa 8gr, 10gr, 12gr, dan 15gr dan posisi penempatan massa. Penempatan posisi massa *unbalance* diilustrasikan pada gambar 3.



Gambar 3. Posisi Massa *Unbalance* 8 gram

Untuk posisi penempatan massa *unbalance* lainnya disesuaikan dengan sudut yang ditentukan untuk pengujian dan posisi penempatan tercantum pada tabel 1.

Tabel 1. Sudut Posisi Penempatan Massa *Unbalance*

Massa <i>Unbalance</i>	Posisi Sudut Penempatan	
	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)
8 gram	210°	330°
10 gram	45°	135°
12 gram	120°	240°
15 gram	120°	210°

2.2.2 Perhitungan Massa Penyeimbang

Pada Pengujian yang dilakukan, benda rotor dipasang massa tak seimbang pada kedua bidang seperti pada gambar 3 dengan variasi kondisi beban massa yang berbeda. Kemudian dilakukan pengambilan data yang diperlukan yaitu kecepatan getaran pada kondisi awal tanpa penambahan massa, kondisi dengan penambahan massa, dan kondisi setelah dilakukan penyeimbangan dan pemberian massa penyeimbang. Penyeimbangan dilakukan dikecepatan putaran maksimal motor yaitu 1485 RPM dengan langkah pengujian sebagai berikut :

- Pengujian dimulai dengan dilakukan *initial run* pertama untuk mengukur kecepatan getaran alat uji *balancing*. Pengukuran dilakukan pada *housing bearing* di kedua bidang.
- Kemudian ukur nilai kecepatan getaran (*velocity*) yang timbul di *housing bearing* sisi kiri (*Left/L*) dan Kanan (*Right/R*) menggunakan vibrometer dengan pengukuran posisi radial (Horizontal dan Vertikal) serta posisi Axial.
- Tempatkan massa *unbalance* berupa mur dan baut dengan berat massa 8gram pada percobaan pertama, 10gram pada percobaan kedua, 12gram pada percobaan ketiga, dan 15gram pada percobaan keempat.
- Pada *trial run*, kondisi benda uji sudah ditambahkan massa *unbalance* dan dilakukan pengukuran parameter getaran dikecepatan maksimal motor 1485 RPM

- Kemudian ukur parameter getaran yaitu kecepatan getaran dan simpangan pada *housing bearing* bidang pengukuran kiri (*Left/L*) dan Kanan (*Right/R*).
- Pada Run 1, tempatkan massa coba pada sudut 0° di bidang penempatan kiri, kemudian nyalakan motor atur kecepatan untuk penyeimbangan, dan lakukan pengukuran simpangan pada masing-masing bidang pengukuran menggunakan vibrometer.
- Pada Run 2, 3, dan 4, massa coba ditempatkan pada sudut 90°, 180°, dan 270° kemudian nilai getaran pada masing-masing bidang diukur
- Selanjutnya pada Run 5, 6, 7, dan 8 mengikuti langkah 6 dan 7, namun dengan perbedaan dimana massa coba ditempatkan pada bidang penempatan kanan.
- Semua langkah pengambilan nilai parameter getaran dilakukan secara bergantian dengan menyelesaikan seluruh langkah pengukuran pada satu beban massa *unbalance* kemudian beban massa *unbalance* baru dapat diubah.

Setelah melakukan pengambilan data, didapatkan hasil kondisi pengukuran awal, kondisi tak seimbang, dan parameter getaran pada posisi radial (horizontal dan vertikal) dan axial, serta hasil pengukuran amplitudo simpangan pada tiap pasangan massa coba yang akan digunakan untuk mencari nilai massa penyeimbang (*Correction Weight*).

Tabel 2. Data Pengukuran *Balancing* Metode 4 Massa Coba

Posisi Massa Coba	Bidang Pengukuran	
	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)
Initial Run	A	B
Posisi 0° bidang 1	A_0^1	B_0^1
Posisi 90° bidang 1	A_{90}^1	B_{90}^1
Posisi 180° bidang 1	A_{180}^1	B_{180}^1
Posisi 270° bidang 1	A_{270}^1	B_{270}^1
Posisi 0° bidang 2	A_0^2	B_0^2
Posisi 90° bidang 2	A_{90}^2	B_{90}^2
Posisi 180° bidang 2	A_{180}^2	B_{180}^2
Posisi 270° bidang 2	A_{270}^2	B_{270}^2

Dimana untuk nilai $A_0^1, A_{90}^1, A_{180}^1, \text{ dan } A_{270}^1$ adalah nilai getaran akibat massa coba terpasang pada bidang 1 yang diukur di bidang kiri sedangkan $B_0^1, B_{90}^1, B_{180}^1, \text{ dan } B_{270}^1$ diukur pada bidang kanan. Lalu untuk $A_0^2, A_{90}^2, A_{180}^2, \text{ dan } A_{270}^2$ merupakan amplitudo getaran akibat massa coba terpasang pada bidang 2 yang diukur di bidang kiri $B_0^2, B_{90}^2, B_{180}^2, \text{ dan } B_{270}^2$ diukur pada bidang kanan.

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan untuk mencari nilai massa penyeimbang dengan metode 4 massa coba tanpa sudut fasa :

Menentukan nilai ϕ_a yaitu sudut fasa akibat massa *unbalance* akibat massa coba pada bidang kiri

$$\phi_a = \tan^{-1} \left[\frac{(A_{90}^1)^2 - (A_{270}^1)^2}{(A_0^1)^2 - (A_{180}^1)^2} \right]$$

atau bisa dirumuskan juga dengan,

$$\phi_a = \tan^{-1} \left[\frac{(A_{90}^2)^2 - (A_{270}^2)^2}{(A_0^2)^2 - (A_{180}^2)^2} \right]$$

Kemudian mencari nilai A_t^1 ,

$$A_t^1 = \left[\frac{(A_0^1)^2 - (A_{180}^1)^2}{4 * A * \cos \phi_a} \right] = \left[\frac{(A_{90}^1)^2 - (A_{270}^1)^2}{4 * A * \sin \phi_a} \right]$$

Lalu melanjutkan dengan mencari nilai A_t^2 ,

$$A_t^2 = \left[\frac{(A_0^2)^2 - (A_{180}^2)^2}{4 * A * \cos \phi_a} \right] = \left[\frac{(A_{90}^2)^2 - (A_{270}^2)^2}{4 * A * \sin \phi_a} \right]$$

Setelah itu, tentukan nilai ϕ_b ,

$$\phi_b = \tan^{-1} \left[\frac{(B_{90}^1)^2 - (B_{270}^1)^2}{(B_0^1)^2 - (B_{180}^1)^2} \right]$$

Atau bisa dirumuskan dengan

$$\phi_b = \tan^{-1} \left[\frac{(B_{90}^2)^2 - (B_{270}^2)^2}{(B_0^2)^2 - (B_{180}^2)^2} \right]$$

Kemudian mencari nilai B_t^1 ,

$$B_t^1 = \frac{[(B_0^1)^2 - (B_{180}^1)^2]}{4 * B * \cos \phi_b} = \frac{[(B_{90}^1)^2 - (B_{270}^1)^2]}{4 * B * \sin \phi_b}$$

Lalu dilanjutkan mencari nilai B_t^2 ,

$$B_t^2 = \frac{[(B_0^2)^2 - (B_{180}^2)^2]}{4 * B * \cos b} = \frac{[(B_{90}^2)^2 - (B_{270}^2)^2]}{4 * B * \sin \phi_b}$$

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai faktor koreksi penyeimbangan pada masing-masing bidang dan sudut penempatan

$$C_{ax} = \frac{B * A_t^2 * \cos \phi_b - A * B_t^2 * \cos \phi_a}{A_t^1 * B_t^2 - A_t^2 * B_t^1}$$

$$C_{ay} = \frac{B * A_t^2 * \sin \phi_b - A * B_t^2 * \sin \phi_a}{A_t^1 * B_t^2 - A_t^2 * B_t^1}$$

$$C_{bx} = \frac{-A * \cos \phi_a - C_{ax} * A_t^1}{A_t^2}$$

$$C_{by} = \frac{-A * \sin \phi_a - C_{ay} * A_t^1}{A_t^2}$$

Setelah didapatkan nilai faktor koreksi, selanjutnya mencari nilai massa penyeimbang yang diperlukan dengan persamaan sebagai berikut

$$M_{ax} = C_{ax} \times M_{trial}$$

$$M_{ay} = C_{ay} \times M_{trial}$$

$$M_{bx} = C_{bx} \times M_{trial}$$

$$M_{by} = C_{by} \times M_{trial}$$

Dimana :

M_{trial} : massa coba yang digunakan.

M_{ax} : massa penyeimbang di bidang A, jika bernilai positif akan ditempatkan pada sudut 0° dan jika bernilai negatif ditempatkan pada sudut 180° .

M_{ay} : massa penyeimbang di bidang A, jika bernilai positif akan ditempatkan pada sudut 90° dan jika bernilai negatif ditempatkan pada sudut 270° .

M_{bx} : massa penyeimbang di bidang B, jika bernilai positif akan ditempatkan pada sudut 0° dan jika bernilai negatif ditempatkan pada sudut 180° .

M_{by} : massa penyeimbang di bidang B, jika bernilai positif akan ditempatkan pada sudut 90° dan jika bernilai negatif ditempatkan pada sudut 270° .

3. Hasil Dan Pembahasan

Dari data yang telah diperoleh, dengan menggunakan massa coba seberat 10gram, nilai amplitudo yang timbul dan terukur dari masing-masing pengujian dapat dilihat pada tabel 3. Data tersebut digunakan untuk perhitungan mencari nilai massa penyeimbang.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Nilai Amplitudo Getaran

Posisi Massa Coba	Massa Unbalance 8 Gram		Massa Unbalance 10 Gram		Massa Unbalance 12 Gram		Massa Unbalance 15 Gram	
	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)	Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)
Initial	0,027	0,024	0,027	0,022	0,031	0,027	0,044	0,048
Posisi 0° Bidang 1	0,039	0,030	0,031	0,031	0,015	0,014	0,031	0,034
Posisi 90° Bidang 1	0,014	0,009	0,047	0,040	0,038	0,038	0,055	0,060
Posisi 180° Bidang 1	0,036	0,037	0,042	0,036	0,052	0,052	0,061	0,064
Posisi 270° Bidang 1	0,052	0,046	0,016	0,013	0,036	0,036	0,049	0,049
Posisi 0° Bidang 2	0,040	0,034	0,034	0,029	0,017	0,017	0,031	0,032
Posisi 90° Bidang 2	0,016	0,009	0,037	0,042	0,035	0,035	0,054	0,057
Posisi 180° Bidang 2	0,043	0,037	0,032	0,037	0,049	0,049	0,060	0,070
Posisi 270° Bidang 2	0,052	0,045	0,019	0,012	0,038	0,038	0,048	0,053

Setelah dilakukan perhitungan dalam mencari berat massa penyeimbang, didapatkan berat massa penyeimbang yang diperlukan. Nilai massa penyeimbang tersaji pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Massa Penyeimbang

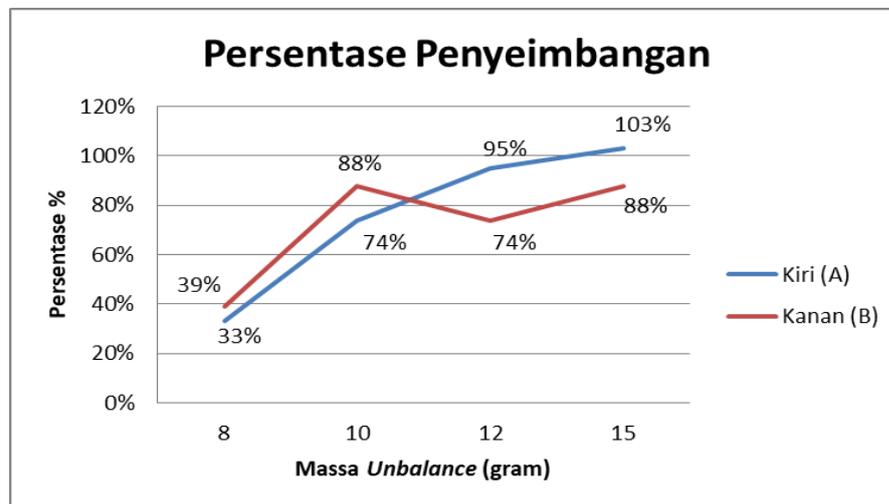
Massa Unbalance	Massa Penyeimbang	Sudut Penepatan	
		Bidang Kiri (A)	Bidang Kanan (B)
8 Gram	0,112 gram	0°	-
	7,127 gram	90°	-
	1,036 gram	-	0°
	3,98 gram	-	270°
10 Gram	5,27 gram	0°	-
	13,17 gram	270°	-
	0,17 gram	-	0°
	2,44 gram	-	270°
12 Gram	28,42 gram	0°	-
	27,71 gram	270°	-
	15,22 gram	-	180°
	31,44 gram	-	90°
15 Gram	15,46 gram	0°	-
	12,69 gram	270°	-
	11,74 gram	-	0°
	6,96 gram	-	90°

Kemudian didapatkan nilai getaran secara keseluruhan saat keadaan tanpa massa *unbalance*, dengan massa *unbalance*, dan keadaan setelah diseimbangkan pada kecepatan motor 1485 RPM serta persentase penyeimbangan. Data tersebut tersaji pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kecepatan Getaran dan Persentase Penyeimbangan

Bidang	Massa Unbalance	Kecepatan Getaran (mm/s)			Persentase Penyeimbangan
		Sebelum Penambahan Massa Unbalance (Kondisi Awal)	Dengan Massa Unbalance (Sebelum Balancing)	Dengan Massa Unbalance (Setelah Balancing)	
Kiri (A)	8 gram	2,373	3,285	2,981	33%
Kanan (B)		1,129	2,411	1,91	39%
Kiri (A)	10 gram	2,373	3,227	2,599	74%
Kanan (B)		1,129	2,495	1,207	88%
Kiri (A)	12 gram	2,373	3,492	2,434	95%
Kanan (B)		1,129	2,966	1,599	74%
Kiri (A)	15 gram	2,373	3,992	2,328	103%
Kanan (B)		1,129	4,252	1,518	88%

Setelah dilakukan analisa nilai getaran yang timbul saat kondisi awal, kemudian ditambahkan dengan massa *unbalance*, dan setelah dilakukan penyeimbangan, didapatkan perbedaan getaran yang diakibatkan oleh masing-masing massa *unbalance*. Terlihat pada tabel 4, semakin besar massa *unbalance* yang ditempatkan, semakin besar juga getaran yang timbul. Dengan dilakukan pengujian *balancing* menggunakan metode 4 massa coba, nilai getaran mengalami penurunan. Namun, besarnya nilai penurunan getaran juga terpengaruh oleh berat massa *unbalance* yang terpasang. Hal ini dapat dilihat pada nilai persentase penyeimbangan yang dihasilkan. Terlihat bahwa persentase penyeimbangan semakin besar apabila berat massa *unbalance* juga besar. Tergambarkan grafik nilai persentase penyeimbangan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Persentase Penyeimbangan

4. Kesimpulan

Dengan dilakukan pengujian ini, didapatkan hasil bahwa dengan ditambahkan massa *unbalance* benda berputar dalam hal ini adalah benda uji dapat mengalami keadaan tak seimbang. Terlihat juga dengan semakin besar massa *unbalance*, akan semakin besar juga nilai getaran yang timbul akibat kondisi tak seimbang. Kemudian dari hasil percobaan penyeimbangan setelah penambahan massa penyeimbang, nilai getaran yang timbul mengalami penurunan. Nilai persentase penyeimbangan terbesar sebesar 103% dan 88% dihasilkan dari penyeimbangan benda uji dengan berat massa *unbalance* 15gr dan terkecil sebesar 33% dan 39% dengan berat massa *unbalance* 8gr. Kondisi ini menunjukkan bahwa besar berat massa *unbalance* berpengaruh dari prestasi penyeimbangan menggunakan metode 4 massa coba tanpa sudut fasa ini.

Referensi

- [1] Vierck, R. K. (1995). Analisis getaran. ERESKO.
- [2] Swandono, I. K. (2019). Karakteristik Getaran Pada 3 Piringan Akibat Perubahan Putaran Poros (Doctoral dissertation).
- [3] Sularso, I., & Suga, K. (1991). Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin.
- [4] Sonawan, H. (2014). Perancangan elemen mesin edisi revisi. ALFABETA. Bandung.
- [5] Nurhadiyanto, D. (2015). Getaran Struktur, K-Media. Yogyakarta.
- [6] Hadmoko, T., Widodo, A., & Satrijo, D. (2015). Balancing Rotor Dengan Analisis Sinyal Getaran Dalam Kondisi Steady State. JURNAL TEKNIK MESIN, 4(2), 251-257.
- [7] Abidin, D. I. Z. (2004). Balancing of Rotating Equipment, Bandung: Laboratorium Dinamika – PPAU Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung.
- [8] Al Abbood, M. T. S. (2019). A new mathematical analysis of two-plane balancing for long rotors without phase data. Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences, 26(1), 44-48.
- [9] ISO-1925 Mechanical Vibration – Balancing – Vocabulary, 2001.
- [10] ISO-21940-12 Procedure & Tolerance For Rotor With Flexible Behavior, 2016.
- [11] Zhou, S., & Shi, J. (2001). Active balancing and vibration control of rotating machinery: a survey. Shock and Vibration Digest, 33(5), 361-371.